

0-734633

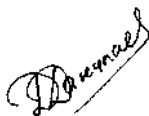
На правах рукописи

Данилаев Дмитрий Петрович

ИМИТАТОР ВСТРОЕННОГО ТИПА СТРЕЛЬБЫ ПРОТИВОТАНКОВОЙ
УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТОЙ.

Специальность 05. 13. 05 - Элементы и устройства
вычислительной техники и систем управления

АФТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Данилаев', is written diagonally across the page.

Казань 2002

Работа выполнена в Казанском государственном техническом университете им. А.Н. Туполева

Научный руководитель: - кандидат технических наук
Беляков Ю.М.

Научный консультант: - доктор технических наук
профессор Ильин Г.И.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук,
профессор Евдокимов Ю.К.
- кандидат технических наук
Логинов В.И.

Ведущая организация: ГУЛ ЦКБ «Фотон»

Защита состоится «23» 12 2002 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.079.04 в Казанском государственном техническом университете им. А.Н. Туполева по адресу: 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева.

Автореферат разослан "19" 11___2002 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



В.А. Козлов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Боеспособность современной армии определяется в основном техническим оснащением и степенью подготовки личного состава подразделений, что в свою очередь зависит от качества и регулярности проведения войсковых учений. Основным параметром, определяющим эффективность проводимых учений, является максимальная приближенность условий учений к боевым. Для решения этой задачи возможны два пути:

1. Собственно проведение учений с реальным, боевым оружием и боеприпасами, что экономически не выгодно, неприемлемо в связи с высоким риском для жизни обучающихся, сложно в реализации;
2. Применение имитаторов стрельбы с возможностью взаимного поражения противоборствующих сторон.

Одним из перспективных направлений развития технических средств обучения стрельбе личного состава вооруженных сил является создание и модернизация существующих тренажерных комплексов. В настоящее время используются тренажерные комплексы двух типов - аудиторные тренажерные комплексы и тренажерные комплексы для огневых городков. На аудиторных тренажерных комплексах (компьютерные тренажеры) легко решаются тактические задачи, и реализуется основной принцип педагогики: формирование умений и навыков. Однако они обладают существенным недостатком - оторванностью от реальной боевой ситуации.

Устранить указанный недостаток можно, если перейти к тренажерным комплексам для огневых городков. Особенностью всех тренажерных комплексов этого типа является то, что в их состав входит система вооружения, используемая в войсках. Тренажерные комплексы используют реальные цели (передвижные и неподвижные) и работают в реальных полевых условиях, при различных ветре, давлении, температуре окружающего воздуха, влажностью, осадках. Для них не требуется создавать виртуальную цель с различными

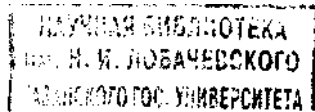
параметрами движения. Наиболее полно используются возможности тренажерных комплексов данного типа при их установке в полномасштабных огневых городках. Применение тренажеров и тренажерных комплексов для обучения личного состава вооруженных сил дает: сокращение времени тренировок, повышение экономической эффективности тренировок, повышение безопасности обучения и т.д.

Эффективность применения противотанковых управляемых ракет (ПТУР) определяется подготовленностью оператора к использованию данного вида оружия. В настоящее время при обучении личного состава вооруженных сил используются тренажеры стрельбы ПТУР аудиторного типа. Поэтому актуальным является создание тренажеров для огневых городков, обеспечивающих работу системы вооружения противотанковым ракетным комплексом, использованную в тренажере, в штатном режиме. Наиболее перспективным является создание оптико-электронных систем имитационной стрельбы ПТУР на базе наземной аппаратуры пусковой установки комплекса.

Целью диссертационной работы является создание встроенных систем имитационной стрельбы противотанковыми управляемыми ракетами по реальным целям.

Для достижения поставленной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Исследование структур построения различных моделей тренажерных комплексов стрельбы противотанковой управляемой ракетой;
2. Разработка частных методик параметрического синтеза управляемой ракеты;
3. Разработка математической модели имитаторов полета ПТУР;
4. Разработка алгоритмов формирования электронного баллистического вычислителя;
5. Разработка и построение экспериментальной установки имитатора на примере носимого противотанкового комплекса;



6. Оценка идентичности разработанного тренажера стрельбы противотанковой управляемой ракетой и реальной системы вооружения.

Методы исследований. Достоверность и обоснованность решаемых задач обеспечивается правильным выбором методов теоретического анализа и детальным сопоставлением его результатов с результатами экспериментальных исследований. При выборе концепции создания встроенного имитатора стрельбы управляемой ракетой использовался системный анализ. Исследования аэродинамических баллистических характеристик осуществлялось на базе математического аппарата баллистики, динамики полета, стабилизации и управлении крылатой ракеты в полете, и подтверждались данными численного анализа и проведенных экспериментов. При исследовании траектории полета управляемой ракеты использовался математический аппарат теории дифференциальных уравнений. Анализ схем построения, а также формирование алгоритма построения принципиальных схем баллистического вычислителя проводились с использованием математического аппарата теоретической радиоэлектроники, и подтверждался данными проведенных экспериментов. Оценка идентичности двух неопределенных систем, а именно системы имитации и реальной системы вооружения осуществлялась с использованием математического аппарата теории вероятности и математической статистики. При решении поставленных задач использованы методы математического моделирования и линейного программирования с использованием современных средств вычислительной техники.

Научная новизна исследований представлена следующими результатами:

- Классификация современных тренажеров и тренажерных комплексов;
- Частные методики параметрического синтеза управляемой ракеты;
- Математическая модель пространственного движения ПТУР;

- Алгоритмы формирования электронного баллистического вычислителя;

- Критерий оценки идентичности двух неопределенных систем на базе усредненной, полной, условной энтропии.

Практическая ценность, реализация и внедрение результатов исследований работы состоит в том, что:

- Создана математическая модель движения управляемой ракеты в пространстве;

- Предложено три подхода полуэмпирического метода для определения коэффициентов аэродинамических сил и моментов, управляемой ракеты - подходы подбора аналогов, разложения на составные части и подход эмпирических формул;

- Выработаны общие рекомендации по построению тренажерных комплексов ПТУР на базе реальных пусковых установок;

- Выработаны рекомендации по выбору элементов структурной схемы тренажерных комплексов ПТУР;

- Разработан тренажер стрельбы ПТУР на базе штатной аппаратуры носимого противотанкового комплекса.

Аппробация работы. Основные положения работы диссертационной работы докладывались на следующих конференциях и симпозиумах:

- XIII-ая Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология» (КФВАУ, Казань, 2001);

- III-ая республиканская научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов. (Казань, 1997)

- II-ая научно-техническая конференция студентов и аспирантов радиотехнического факультета, посвященная памяти проф. В.И. Поповкина (Казань, 2001)

- XIV-ая Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция «Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология» (КФВАУ, Казань, 2002)
- X-ая юбилейная Всероссийская студенческая конференция «Туполевские чтения студентов» (КГТУ им. А.Н.Туполева, Казань, 2002)
- Итоговая конференция республиканского конкурса научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии имени Лобачевского Н.И. (ЮГУ, Казань, 2002)

Основные положения, представляемые к защите:

1. Классификация современных тренажеров и тренажерных комплексов;
2. Частные методики параметрического синтеза управляемых ракет;
3. Математическая модель пространственного движения ПТУР с учетом изменяющихся начальных условий, внешних воздействий, баллистических особенностей ракет;
4. Алгоритмы и методика построения тренажера стрельбы ПТУР;
5. Структура построения тренажерных комплексов на базе штатной аппаратуры носимого противотанкового комплекса. Особенности применения тренажерного комплекса в полевых условиях с применением реальных, как неподвижных, так и перемещающихся, целей;
6. Результаты внедрения результатов исследований в практику создания тренажеров использования ПТУР. Идентичность реальной системы вооружения и имитационной системы.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 156 страницах машинописного текста, иллюстрирована 54 рисунками и 1 таблицей и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 126 наименований и 9 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертационной работы и необходимость проведения исследований. Сформулирована цель диссертационной работы, представлены основные защищаемые положения. Показана научная новизна и практическая значимость работы. Описана структура диссертации и приведено ее краткое описание.

В первой главе приведен анализ состояния технических средств обучения.

В настоящее время наметилось два основных направления развития систем, предназначенных для обучения личного состава: 1)телевизионные и компьютерные тренажеры и тренажерные комплексы; 2)имитаторы стрельбы и поражения с использованием реальных, штатных систем вооружения, в частности лазерные имитаторы стрельбы и поражения. Тренажеры, выполненные на основе телевизионной и компьютерной техники, обладают весьма высокой гибкостью при переходе от одной решаемой задаче к другой. К достоинствам имитаторов стрельбы и поражения следует отнести то обстоятельство, что обучение с помощью имитатора ведется на реальном оружии.

Предложена классификация современных тренажеров и тренажерных комплексов по ряду признаков и критериев. Тренажерные комплексы разделены на два класса: собственно тренажеры и имитаторы стрельбы и поражения. Тренажеры и имитаторы классифицированы по следующим свойствам и признакам: 1)По функциональному назначению (обучающие, исследовательские системы, контрольно-проверочное оборудование); 2)По применяемым техническим средствам имитации (телевизионные, компьютерные, лазерные, оптико-электронные, кинематографические, комплексные (универсальные)); 3)По моделируемым процессам (стрелковые, технологические, тренажеры и имитаторы единиц боевой техники, управления техникой); 4)По способу размещения дополнительного оборудования имитатора

на реальных системах вооружения (навесного типа, встроенного типа); 5) По месту применения (аудиторные, тренажеры для огневых городков, универсальные) 6) По применяемым мишеням; 7) По контролю над выполнением имитационных процессов (с местом инструктора, с полуавтоматическим или автоматическим контролем); 8) По сложности схемной реализации.

В первой главе рассмотрены два направления, связанные с лазерными имитаторами стрельбы и поражения: 1) Лазерные имитаторы стрельбы и поражения стрелкового вооружения. Основной проблемой при разработке имитаторов этого типа является уменьшение энергопотребления в дежурном режиме. Решение о попадании в цель принимается системой, установленной на цели. 2) Лазерные имитаторы стрельбы и поражения пушечного вооружения. Наиболее развиты системы этого типа для оснащения бронетанковой техники. Наличие дополнительного блока управления и необходимость взаимодействия экипажа с этим блоком, в общем, является недостатком подобных построений имитаторов стрельбы, так как вносятся дополнительные коррективы в штатные действия экипажа.

В материалах первой главы оценивается состояние разработок имитаторов стрельбы противотанковыми управляемыми ракетами. Обучение и тщательная подготовка оператора в дальнейшем определяет успешность применения данного вида оружия. В настоящее время при обучении личного состава вооруженных сил для тренировки операторов противотанкового комплекса используются тренажеры аудиторного типа. Данные имитаторы не позволяют курсантам четко представить все действия, которые он должен выполнить для поражения цели. Остаются не отраженными цель (перемещающаяся или неподвижная), ракета, влияние внешних условий, субъективные факторы.

Наиболее перспективным является создание оптико-электронных систем имитационной стрельбы ПТУР на базе штатной наземной аппаратуры пусковой установки для полномасштабных огневых городков (реальных полевых условий). Целесообразным представляется создание отдельных, дополнительных

блоков имитатора стрельбы, позволяющих не изменяя схему построения аппаратурной части пусковой установки реального комплекса, но используя его функциональные возможности, создать тренажер стрельбы, отвечающий всем требованиям по его использованию.

На основании материалов данной главы сформулированы основные направления научных исследований, анализ которых представлен в последующих главах.

Во ВТОРОЙ главе рассмотрены частные методики параметрического синтеза имитаторов стрельбы ПТУР.

Для построения имитатора стрельбы ПТУР необходимо определить траекторию движения ракеты. При решении этой задачи необходимо, прежде всего, правильно определить, какие силы действуют на ракету в полете, и знать, какова будет их величина в каждый момент времени. Далее следует составить дифференциальные уравнения движения ракеты с учетом всех действующих сил. Число сил, действующих на ракету при движении, характер их изменения в процессе движения, а также число уравнений, описывающих движение, и их вид зависят от назначения ракеты, ее конструкции, способа стабилизации в полете и предполагаемой траектории движения. Вторая задача состоит в определении проектных баллистических характеристик движения по заданным тактико-техническим данным ракетной системы.

На этапе создания математической модели траектории полета ПТУР, выбором системы координат и углов, используемой в модели, осуществляется совместимость аппаратуры пусковой установки и имитатора стрельбы. В аппаратуре пусковой установки - используется система координат связанная с точкой старта. Связь между скоростной и связанной системами координат осуществляется с помощью угла атаки α , угла скольжения β , пространственного угла атаки α_n и пространственного угла крена φ_n . Связь, между нормальной и связанной системами координат, осуществляется с помощью углов рыскания, тангажа и крена.

Современные теоретические и экспериментальные методы позволяют определить для каждого объекта зависимость коэффициента лобового сопротивления $C_x(M)$ в виде произведения некоторого числового коэффициента i на известную функцию $C_{x0}(M)$:

$$C_x(M) = i * C_{x0}(M). \quad (1)$$

Функция $C_{x0}(M)$ называется законом сопротивления, а коэффициент i - коэффициентом формы объекта. Наиболее распространен закон сопротивления Сиаччи, найденный путем усреднения многочисленных экспериментальных данных. Существует несколько вариантов представления аэродинамического коэффициента продольной силы C_x в математической модели: аппроксимация с помощью полиномов, функциональное представление закона Сиаччи. Функциональное представление оказывается точнее в большем диапазоне скоростей. В качестве эмпирической формулы, хорошо аппроксимирующей закон Сиаччи для чисел Маха больших 4, используется известный закон Планка. На скоростях меньших 0,8М коэффициент лобового сопротивления практически не меняется, и поэтому в математической модели при исследовании ракеты на таких скоростях можно принимать $C_x = \text{const}$. Введение коэффициента формы объекта позволяет учесть аэродинамические особенности конкретной ракеты.

Построение математической модели неуправляемого снаряда позволяет на основании численного эксперимента подобрать основные параметры ракеты, например, такие как масса, средняя скорость сжигания топлива, тяга двигателя, аэродинамический коэффициент лобового сопротивления (коэффициент формы) и т.д. Наиболее универсальным численным методом для решения подобных систем является метод Рунге - Кутты. На основе решения получены значения основных параметров ракеты, которые могут быть использованы при исследовании динамики управляемого полета данной ракеты.

Для определения коэффициентов аэродинамических сил в основном применяются полуэмпирические методы расчета характеристик различных тел, основанные на использовании численных решений, а также на

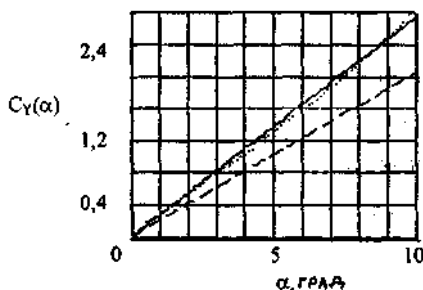
экспериментальных результатах. Предложено несколько подходов определения коэффициентов аэродинамических сил и моментов. Для первого подхода - подбора аналогов - определены критерии выбора: основным критерием подбора аэродинамических параметров ракеты является геометрическое подобие анализируемых ЛА. Дополнительными критериями подбора является подобие рабочих скоростей полета ЛА, и их чисел Рейнольдса. Необходимо отметить, что определение критериев проводилось для дозвуковых скоростей, и для ракет с незначительным изменением высот полета, т.е. с таким изменением высоты полета, при котором ее влияние на аэродинамические параметры можно не учитывать. Для определенных первым подходом данных можно подобрать аналитическое выражение, которое опишет зависимость искомого коэффициента от различных параметров. Аппроксимация усредненных, экспериментальных данных осуществляется с помощью сплайн-интерполяции. Преимущество подхода заключается в простоте определения аэродинамических характеристик для конкретной ракеты.

Второй подход - разложения на составные части - является более точным. В нем значения коэффициентов аэродинамических сил и моментов для составного тела вычисляется как сумма коэффициентов соответствующих сил и моментов, определенных для тел простой формы (цилиндр, конус), составляющих тело вращения сложной формы.

В третьем подходе - эмпирических формул - осуществлен поиск эмпирических формул, которые позволили бы представить аэродинамические коэффициенты в модели в аналитическом виде. Сложность при определении аналитических выражений заключается в отличии зависимостей аэродинамических коэффициентов от угла атаки, угла скольжения и т.д. для различных схем компоновки ЛА. Суть методики заключается в расчете аэродинамических параметров управляемой ракеты, с использованием приближенных формул расчета, знанием геометрических параметров ракеты, и

применением экспериментально проверенных величин коэффициентов интерференции.

Осуществлено сравнение результатов расчета коэффициента подъемной силы для ПТУР с помощью подхода подбора аналогов (непрерывная линия) и подхода эмпирических формул (пунктирная линия) (рисунок). (Точками обозначены значения коэффициент подъемной силы, полученные экспериментальным путем.)



Анализ графических зависимостей показывает, что результаты расчетов первым и третьим подходами достаточно близки, особенно в области малых углов атаки. Это говорит о хорошей аппроксимации значений аэродинамических коэффициентов этими подходами. Причина отличий заключается в неточности данных подходов, приближенности использованных, исходных данных, и, конечно, в исходном различии аэродинамических коэффициентов модели, исследованной в ходе эксперимента, и ПТУР.

С использованием подхода эмпирических формул определены численные значения аэродинамических характеристик противотанковой управляемой ракеты, включая коэффициенты управляющих органов ракеты.

В третьей главе при решении дифференциальных уравнений вычисляются все характеристики движения: скорость, ускорение, углы наклона траектории, тангажа, крена, угол атаки, время полета и координаты центра масс. В результате этих расчетов устанавливается форма траектории, ее кривизна,

величины касательных и нормальных ускорений. Определяются характеристики движения ракеты при встрече ее с целью. Метод расчета пространственной траектории наведения ракеты на цель должен обеспечить получение конкретных числовых результатов, но не должен накладывать каких-либо ограничений на характеристики движения цели и ракеты.

Летательный аппарат как объект управления обычно описывается уравнением вида:

$$\frac{d}{dt}\bar{x}(t) = F(\bar{x}, \bar{u}, \bar{a}, t), \quad (2)$$

где t - время; \bar{x} - n -мерный вектор состояния системы; \bar{u} - m -мерный вектор управляющего воздействия; \bar{a} - g -мерный вектор траекторных параметров ЛА. Система дифференциальных уравнений, описывающая продольное движение ракеты, и определяющее положение ракеты относительно подвижной линии визирования в вертикальной плоскости (плоскости стрельбы), имеет шесть переменных величин $V(t)$, $\theta(t)$, $x(t)$, $y(t)$, $\vartheta(t)$, $w_z(t)$. Она может быть решена, если заданы: программа угла наклона траектории $\theta_{lv}(t)$ (пространственное положение линии визирования, и ее изменение); зависимость, определяющая изменение массы ракеты $g_a(t)$; аэродинамические коэффициенты сил и моментов ракеты; начальные условия полета. Аэродинамические силы и моменты, действующие в боковом направлении, не могут быть определены, если не известны скорость и высота полета. Поэтому моделирование бокового движения ракеты проводится совместно с моделированием продольного движения ракеты.

Для расчета данной математической модели используется пакет прикладных программ MATHCAD. Анализ результатов расчета математической модели показывает, что решение дифференциальных уравнений существует. Траектории полета ракеты близки к заданной линии визирования, т.е. автоматический контур управления, заложенный в математическую модель, отрабатывает управляющие воздействия таким образом, чтобы ракеты вернулась на линию визирования.

Рассеивание траекторий отдельных выстрелов может зависеть как от конструктивных и технологических причин, так и от отклонений условий полета от расчетных, например, от изменения метеофакторов. Скорости восходящих и нисходящих потоков ветра невелики; они на порядок, а иногда, на два порядка, меньше горизонтальных потоков. Поэтому допустимо предположение о неизменности скоростей ветра по высоте в пределах всей траектории. В горизонтальном перемещении воздушных масс наблюдается неустойчивость ветра, резко выраженная вблизи поверхности земли. Для учебного тренажера стрельбы ПТУР можно предположить, что вариации скорости ветра в горизонтальном направлении совпадают с вариациями скорости ветра в течение времени полета ракеты в точке ее старта. Тогда определяя мгновенную скорость ветра в точке старта, можно примерно учесть влияние скорости перемещения воздушных масс на траекторию полета ракеты.

В процессе моделирования и изготовления ракетного имитатора баллистические расчеты повторяются с введением в них новых уточненных данных о ракете, системе управления и стабилизации. Целью такого уточнения является приближение моделируемой траектории полета виртуальной ракеты к реальной траектории полета ПТУР.

В четвертой главе описана техническая реализация тренажера стрельбы противотанковой управляемой ракетой, позволяющего учесть внешние воздействия на ракету, находящуюся в полете, команды управления ракетой и особенности динамики полета. В диссертации разрабатывается тренажерный комплекс, построенный на базе реальной боевой техники.

В основу данной работы положена идея построения тренажера стрельбы ПТУР на базе пусковой установки носимого противотанкового комплекса. При построении имитатора такого типа возникает основная проблема - отсутствие центрального звена комплекса - управляемой ракеты. Блок баллистического вычислителя заменяет собой замкнутый контур автоматического управления, и обеспечивает имитацию реального полета ракеты с отклонениями от заданной

траектории, вызванными внешними воздействиями и условиями полета. Важно отметить, что замкнутый контур ручного отслеживания цели, главным звеном которого является оператор (обучаемый) остается и включается в структурную схему системы управления имитатором. Блок баллистического вычислителя строится на базе математической модели движения управляемой ракеты. Он выдает информацию о положении виртуальной ракеты в пространстве.

Принцип структурного синтеза имитатора заключается в создании виртуальной ракеты, полностью повторяющей особенности реальной ПТУР. Причем, штатная аппаратура пусковой установки остается неизменной и используется в рабочем режиме.

Тренажер при поступлении сигнала о пуске запускает дальномерный канал. Лазер дальномерного канала облучает цель, на которой установлен приемник излучения, периодическими импульсами. Цель, приняв импульс лазерного дальномера, формирует и излучает в радиодиапазоне ответный импульс через ненаправленную антенну. Решающее устройство, входящее в состав дополнительного оборудования тренажера, должно сравнивать мгновенное положение ракеты, вычисленное в баллистическом вычислителе, и дальность до цели. В момент совпадения этих расстояний и отсутствия отклонений ракеты от линии визирования принимается решение о попадании. Если линия визирования не пересекает контур цели, и, соответственно, ответный импульс не поступает на вход приемника пусковой установки, то решающее устройство принимает решение об отклонении линии визирования и ракеты. В этом случае, решающее устройство сравнивает максимальную дальность полета и мгновенное положение ракеты. При превышении максимальной дальности полета ракеты, принимается решение о промахе.

Для учета в имитаторе стрельбы внешних условий и воздействий на ракету, в структурной схеме предусмотрены датчики скорости ветра, определяющие в горизонтальной плоскости направление ветра и скорости составляющих ветра по осям стартовой системы координат.

Смещение линии визирования определяется блоком измерения угловых перемещений пусковой установки в двух плоскостях: вертикальной и горизонтальной. Результат измерения непрерывно вводится в баллистический вычислитель. Так, учитываются произвольные перемещения цели, а результатом учета становятся отклонения метки трассера виртуальной ракеты от линии визирования, пропорциональные перемещению цели.

Сигналы управления формируются пропорционально отклонению трассера ракеты от линии визирования в блоке формирования команд, и там сигналы преобразуются в широтно-импульсные сигналы управления по каналам курса и тангажа. На выходе сигнал управления по каналу тангажа суммируется с командой компенсации веса, поступающей со схемы программной компенсации веса. Баллистический вычислитель, при отклонении ракеты от линии визирования, должен отработать управляющее воздействие на ракету с некоторой постоянной времени, равной времени передачи на ракету и выполнения этого воздействия, т.е. вернуть ее к линии визирования. Положение метки трассера виртуальной ракеты, с учетом управляющих, внешних воздействий и особенностей динамики полета, проецируется устройством отображения положения ракеты посредством системы поворотных зеркал на прибор наведения. Проекция пятна является подвижной и перемещается в зависимости от отклонения ракеты от линии визирования. Оператор пусковой установки наблюдает цель и метку трассера, в полном соответствии с реальным оружием.

Для формирования однозначного ответа о попадании или промахе в структурную схему тренажера стрельбы ПТУР включено решающее устройство. Решающее устройство сравнивает дальности до цели, удаление ракеты и максимальную дальность полета ракеты. При превышении максимальной дальности принимается решение о промахе. Если ответный сигнал цели не поступает, то сравнение ведется только для максимальной дальности и удаления ракеты. Результат решения выдается на устройство отображения решения на

табло, соответствующее решению о попадании или промахе. Обучающийся сразу после завершения учебного пуска ракеты информируется о результате работы.

Разработан алгоритм формирования принципиальной схемы баллистического вычислителя на основе составленной ранее математической модели полета ПТУР.

В пятой главе определяется идентичность тренажера стрельбы реальной системе вооружения. Идентичность тренажера и реальной ракеты можно разделить на структурную и функциональную. Структурная идентичность обеспечивается на этапе разработки структурной схемы тренажера. Курсант не должен производить дополнительных действий при подготовке и осуществлении пуска ракеты. Функциональная идентичность заключается в схожести траекторий полета ракет, их управляемости, стабилизации и т.д.

Решение об идентичности систем оружия (система Y) и имитации (система X) на основании сравнения вероятностей не полностью удовлетворяет требованиям при создании систем имитационной стрельбы. Наиболее информативным является критерий оценки на базе полной условной энтропии. Предположим, что система X принимает состояние X_i с вероятностью p_i . Обозначим $P(y_j/x_i)$ условную вероятность того, что система Y примет состояние y_j при условии, что система X находится в состоянии x_i . Тогда полная условная энтропия системы Y при условии, что система X находится в состоянии x_i , определяется как

$$H(Y/X) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_i P(y_j/x_i) \log P(y_j/x_i) \quad (3)$$

В частном случае, когда системы X и Y независимы, $H(Y/X) = H(Y)$. В общем случае полная условная энтропия не может превосходить безусловной. В другом крайнем случае, когда состояние одной из систем (например, X) полностью определяет собой состояние другой (Y), $H(X/Y) = 0$. Полная идентичность системы имитации системе реального оружия будет

характеризоваться одинаковыми вероятностями попадания в цель, но значение полной условной энтропии не имеет при этом выраженный экстремум. Для упрощения использования критерия, можно перейти к усредненному значению полной условной энтропии:

$$\delta H = H(Y/X) - H(Y/Y), \quad (4)$$

где $H(Y/Y)$ - значение энтропии при одинаковых вероятностях поражения цели имитационной и реальной системами. Это упрощает использование критерия, но остается его преимущество - значительное изменение энтропии в требуемом диапазоне вероятностей при небольшом изменении вероятностей поражения цели. Эквивалентность систем имитации и вооружения определяется нулевым значением усредненной полной условной энтропии системы оружие - имитатор.

Тренажерный комплекс испытывался в реальных полевых условиях при стрельбе по реальной цели, в качестве которой использовались макеты боевой техники. По статистическим результатам, в соответствии с критерием оценки идентичности, по усредненной полной условной энтропии принято решение о практической идентичности тренажера стрельбы реальной системе вооружения. С использованием критерия на основе коэффициента отклонения вероятностей был проведен сравнительный анализ идентичности тренажера и системы вооружения, и был также сделан вывод об их практической идентичности.

Результаты исследований внедрены и используются в учебном процессе в Казанском филиале Челябинского танкового института.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена классификация современных тренажеров и тренажерных комплексов.

2. В рамках полуэмпирического метода предложено три подхода определения аэродинамических коэффициентов ракет - подходы подбора аналогов, разложения на составные части и подход эмпирических формул. На их

основе получены численные значения коэффициентов аэродинамических сил и моментов для ракеты ПТУР и аналитические выражения, описывающие зависимость этих коэффициентов от различных параметров. На основании известных условий полета ПТУР, определены параметры атмосферы, при которых движется ракета.

3. Создана математическая модель пространственного движения ракеты в виде системы дифференциальных уравнений. Система может быть решена, если заданы: программа угла наклона траектории (изменение пространственного положения линии визирования), зависимость, определяющая изменение массы ракеты, коэффициенты аэродинамических сил и моментов ракеты, и начальные условия полета.

4. Определен критерий оценки статистической эквивалентности двух неопределенных систем на базе усредненной полной условной энтропии. Получено выражение усредненной полной условной энтропии для системы реальное оружие - имитатор. Эквивалентность системы имитации системе вооружений определяется нулевым значением усредненной полной условной энтропии системы оружие - имитатор.

5. Разработан алгоритм формирования электронного баллистического вычислителя на основе математической модели полета ПТУР.

6. На основе результатов математического моделирования построены структурная и функциональная схемы имитатора.

7. Тренажерный комплекс стрельбы ПТУР реализован на базе штатной пусковой установки носимого противотанкового комплекса. Проведены испытания тренажерного комплекса в реальных полевых условиях. На основе полученных результатов стрельб реальным и имитационным комплексами получены статистические результаты попаданий и промахов. Сделан вывод о практической идентичности реального противотанкового комплекса и разработанного тренажерного комплекса стрельбы ПТУР.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ, ОТРАЖАЮЩИХ ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Данилове Д.П., Агишев Р.Р. О дистанционном лазерном анализе и контроле состояния атмосферы. // Сборник тезисов экологической конференции, Казань, 1997.
2. Данилове Д.П., Ильин Г.И. Критерии сравнения идентичности системы имитации и реальной системы. // Сборник «Электронное приборостроение». Выпуск 7(28). Казань: КГТУ (КАИ), 2002г.
3. Данилове Д.П., Ильин Г.И. Моделирование пространственного движения ракеты для имитатора стрельбы ПТУР. // Тезисы докладов XIV Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология» КФВАУ. Часть II. - Казань, Издательство КФВАУ, 2002.
4. Данилове Д.П., Ильин Г.И. Общие подходы математического моделирования полета ракеты для имитатора стрельбы ПТУР. // Тезисы докладов XIV Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология» КФВАУ. Часть II. - Казань, Издательство КФВАУ, 2002.
5. Данилове Д.П., Ильин Г.И. Определение аэродинамических характеристик для математической модели имитатора стрельбы управляемым реактивным снарядом.// Материалы второй НТК студентов и аспирантов радиотехнического факультета памяти В.И. Поповкина. Под ред. к.т.н., доцента О.Г. Морозова. - Казань: ЗАО «Новое Знание», 2001. - 16с.
6. Данилове Д.П., Ильин Г.И. Подходы приближенного метода определения аэродинамических характеристик ракеты. // Тезисы докладов юбилейной X-й Всероссийской студенческой конференции «Туполевские чтения студентов», Том П. Казань, Издательство КГТУ им. А.Н.Туполева, 2002.

7. *Данилове Д.П., Ильин Г.И.* Построение математической модели движения управляемого реактивного снаряда в имитаторе стрельбы. // Материалы второй НТК студентов и аспирантов радиотехнического факультета памяти В.И. Поповкина. Под ред. к.т.н., доцента О.Г. Морозова. - Казань: ЗАО «Новое Знание», 2001. - 16с.

8. *Данилове Д.П., Ильин Г.И.* Структурная схема имитатора стрельбы ПТУР. // Тезисы докладов XIII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Внутрикамерные процессы в энергетических установках, акустика, диагностика, экология»; КФВАУ. Часть II. - Казань, Издательство КФВАУ, 2001.

9. *Данилове Д.П.* Приближенный метод определения аэродинамических характеристик ракеты для имитатора стрельбы ПТУР: подходы. // Сборник тезисов итоговой конференции республиканского конкурса научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии имени Лобачевского Н.И. Часть I. - Казань, Издательство КГУ, 2002.

10. *Данилове Д.П.* Частные методики параметрического синтеза имитаторов стрельбы ПТУР. // Сборник «Электронное приборостроение». Выпуск 5(26). Казань: КГТУ (КАИ), 2002г.